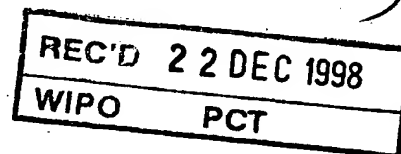


#4  
57-260

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



DE 98/02915

**Bescheinigung**

**09/509807**

Die Mannesmann Aktiengesellschaft in Düsseldorf/Deutschland  
hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren zur Materialflußbestimmung und  
-steuerung von stranggegossenen Brammen"

am 2. Oktober 1997 beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Das angeheftete Stück ist eine richtige und genaue Wieder-  
gabe der ursprünglichen Unterlage dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patentamt vorläufig die Sym-  
bole B 22 D, B 21 B und G 05 D der Internationalen Patent-  
klassifikation erhalten.

München, den 25. August 1998

Der Präsident des Deutschen Patentamts

Im Auftrag

Aktenzeichen: 197 44 815.1

Fau

2. Oktober 1997

72118

5      Verfahren zur Materialflußbestimmung und -steuerung von stranggegossenen  
Brammen

**Beschreibung**

10      Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Materialflußbestimmung und -steuerung von  
stranggegossenen Brammen, insbesondere Stahlbrammen mittels  
Temperaturverfolgung und -optimierung auf ihrem Transportweg zwischen  
Stranggießanlage und Walzwerk.

15      Für den Betreiber einer Stranggießanlage mit angebundenem Walzwerk sowie bei der  
Projektierung von Brammen-Stranggießadjustagen als Bindeglied zwischen der  
Stranggießanlage und dem Walzwerk wird es immer wichtiger, den vorhandenen  
Wärmeinhalt der gerade gegossenen oder zwischengelagerten Bramme zu kennen,  
um die Bramme wirtschaftlich optimal in einen Materialfluß zu bringen, der dem in ihr  
20      noch vorhandenen Wärmeinhalt entspricht. Da eine gerade gegossene Bramme ein  
inhomogenes Temperaturprofil hat, das über einen längeren Zeitraum zu einem  
homogeneren Temperaturprofil hinstrebt, kann man nicht anhand von messbaren  
Oberflächentemperaturen auf die mittlere Brammentemperatur schließen. Man hat  
deshalb auch keine Möglichkeit, das Brammentemperaturprofil nach einer bestimmten  
Zeit zu kennen, z.B. um die Bramme über eine Nachwärmeinrichtung auf eine  
optimale homogene Walztemperatur zu bringen. Schließlich durchläuft die den Caster  
verlassende erstarrte Bramme unterschiedliche Transport- und Verfahrenswege, die  
jeweils zu unterschiedlichen Brammentemperaturprofilen führen. Je nachdem ob die  
Bramme mit oder ohne Wärmeisolierung auf einem Rollgang transportiert wird, ob  
30      eine oder mehrere Brammen im Stapel gelagert sind, ob es sich um ein offenes  
Brammenlager handelt oder ob die Brammen in einem offenen oder geschlossenen  
holding pit gelagert werden, ergeben sich Unterschiede im Temperaturprofil. Auch  
ergeben sich unterschiedliche Temperaturprofile bei in einem Wassertauchbecken  
beschleunigt gegenüber in einer Wassersprühanlage verzögert abgekühlten  
35      Brammen. Es leuchtet deshalb ein, das es anzustreben ist, den Abkühlungsverlauf

der verschiedenen Brammen zu finden und zu kennen, um die Erkenntnis gezielt für die Materialverfolgung und Materialflußsteuerung einzusetzen, die bisher überwiegend auf Erfahrungswerten und Versuchsergebnissen aufgebaut waren.

5     Ausgehend von den geschilderten Problemen ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Materialflußbestimmung und -steuerung von stranggegossenen Brammen, insbesondere Stahlbrammen zu finden, das es ermöglicht, die Wärmemenge und das Temperaturprofil einer stranggegossenen Bramme auf ihrem Weg zwischen Stranggießanlage und Walzwerk zu ermitteln und  
10     gezielt einzusetzen, um die gefundenen Werte in einem vorhandenen Brammenverfolgungssystem zu verwenden, um einen energiemäßig optimalen, d.h. wirtschaftlichen und sicheren Materialfluß zu erhalten.

15     Zur Lösung der Aufgabe wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass zur Ermittlung der Wärmemenge und des Temperaturprofils der Bramme, ausgehend von der bekannten Temperatur der flüssigen Phase am Kokillenaustritt der Stranggießanlage und in Kenntnis der physikalischen Parameter der Bramme, die konvektive Durchmischung der in der Bramme enthaltenen Wärmemenge und die zeitabhängige Wärmeabgabe der inhomogen abkühlenden Bramme an das jeweilige umgebende  
20     Medium mittels eines mathematisch-physikalischen Modells berechnet werden und das Ergebnis der Berechnung, ggf. zusammen mit der gemessenen Oberflächentemperatur der Bramme, zur Steuerung des Materialflusses in einem vorhandenen Brammenverfolgungssystem verwendet wird.

30     Mit dem Vorschlag der Erfindung ist es möglich, eine Bramme gesteuert über die unterschiedlichen Materialflüsse wie warm charge rolling, hot charge rolling, cold charge rolling oder hot direct rolling von der Stranggießanlage ins Walzwerk zu leiten. Es ist möglich, den Abkühlungsverlauf verschiedener Brammen im Stapel ebenso zu finden, wie den Verlauf der Abkühlung an der Oberfläche verschiedener Brammen zu ermitteln, um mit Kontrollmessungen auf die Temperatur im Inneren der Bramme zu schließen. Mit den rechnerisch ermittelten Werten sowie zusätzlichen Produktionsdaten der Anlage lassen sich z.B. die Größe des holding pits bestimmen, sowie im Betrieb Wärmeinsätze bei unterschiedlichen mittleren Temperaturen vorherbestimmen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass zur Berechnung des mathematisch-physikalischen Modells die zweidimensionale Finite-Elemente Methode verwendet wird. Finite-Elemente Berechnungsmethoden erlauben die Simulation verschiedenster Vorgänge, sie dient der Unterstützung konstruktiver Entwicklungen, der Abwicklung, des Vertriebs und im vorliegenden Fall auch des zukünftigen Anlagenbetreibers. In der Konstruktion wird die Methode häufig eingesetzt, um mögliche Risiken durch strukturelle Analysen erkennbar zu machen und zu minimieren. Man kann mit ihr Verformungs- und Spannungsanalysen, Temperaturberechnungen, thermo-mechanische Simulationen und auch Bestimmungen von Eigenfrequenzen und Eigenformen mit dem Ziel der Strukturoptimierung durchführen. Häufig werden Simulationen, basierend auf Finite-Elemente-Berechnungen von Anlagenbetreibern schon in der Projektphase gefordert und gehen als fester Vertragsbestandteil in den Liefervertrag der Anlage ein.

Berechnungen mittels der Finite-Elemente Methode werden auch bei der Entwicklung mathematisch-physikalischer Modelle durchgeführt, welche on-line in sehr kurzer Zeit genaue Ergebnisse liefern müssen, es handelt sich überwiegend um Parameterstudien, aus deren Resultaten anschließend analytische Formeln abgeleitet werden.

Für die vorliegende Erfindung werden zur Berechnung des mathematisch-physikalischen Modells die zweidimensionale Finite-Elemente Methode, die Finite-Differenz-Methode oder eine Software mit aus off-line Studien abgeleiteten Formeln verwendet.

Zur Realisierbarkeit des Verfahrens kann in offline-Studien ein universelles kommerzielles Finite-Elemente-Paket eingesetzt werden. Dieses ist wahrscheinlich on-line zu groß und zu langsam. Deshalb soll ein Verfahren (es kann dies auch ein Finite-Elemente-Verfahren oder die Finite-Differenzmethode sein) eingesetzt werden, d.h. programmiert werden, welches speziell an die Brammengeometrie (rechteckig) angepaßt und damit schnell genug ist. Das online Verfahren wird kann mit dem offline Finite-Elemente-Paket überprüft werden.

Vorzugsweise werden als physikalische Parameter der Bramme die temperaturabhängigen Materialwertedichte  $\rho$ , die spezifische Wärme  $c_p$ , die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  und Zundereigenschaften verwendet werden.

5 Bei einer Optimierung des Verfahrens wird erfindungsgemäß das Ergebnis der Berechnung und die gemessene Oberflächentemperatur der Bramme mit einer Automatisierung des Materialflusses in dem Brammenverfolgungssystem verknüpft.

10 Die Erfindung ermöglicht in vorteilhafter Weise mittels des mathematisch-physikalischen Modells, bevorzugt mit einer Finite-Elemente-Simulation oder Finite-Differenzmethode den Temperaturverlauf von Brammen und Brammenstapeln verschiedener Abmessungen unter bestimmten Abkühlbedingungen zu ermitteln. Durch Auswertung der Verläufe der mittleren Brammentemperatur sowie ausgewählter Oberflächentemperaturen über der Zeit lassen sich später durch die  
15 Messung der Oberflächentemperatur die mittleren Brammentemperaturen gut abschätzen. So kann man mit dem Ergebnis des erfindungsgemäßen Verfahrens beispielsweise Aussagen treffen, wieviel Stunden eine festgelegte mittlere Brammentemperatur in der Adjustage erhalten bleibt; es lassen sich Aussagen über das gesamte Temperaturspektrum in dem Brammenverfolgungssystem machen. Es  
20 hat sich gezeigt, dass das erfindungsgemäße Verfahren und die beschriebene Methode sehr flexibel in der Handhabung ist und geeignet ist, die erfindungsgemäße Aufgabe zu lösen, den wirtschaftlichen und sicheren Materialfluß zwischen der Stranggießanlage und dem Walzwerk zu ermöglichen. Die Erfindung kann die bisherige, auf Erfahrungen und Erfahrungswerten basierende Steuerung der Brammen ersetzen. Die Anlagen brauchen nicht länger aus Sicherheitsgründen überdimensioniert zu sein; denn mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist man nunmehr in der Lage, die tatsächlichen Verhältnisse beim Materialfluß zwischen Stranggießanlage und Walzwerk zu ermitteln und zu beherrschen.

30 Die Erfindung lässt sich am einfachsten anhand eines praktischen Beispiels erläutern. Es wird in dem Beispiel davon ausgegangen, dass mehrere Stranggießbrammen im Stapel in einem offenen holding pit gelagert werden. Der mittlere Abkühlungsverlauf der verschiedenen Brammen im Stapel soll ebenso ermittelt werden, wie der Verlauf der Abkühlung an der Oberflächen verschiedener Brammen im Stapel. Das Ziel einer  
35 Anwendung könnte es sein, die Größe eines Holding Pits zu bestimmen oder im

laufenden Produktionsbetrieb Wärmeinsätze von Brammen bei unterschiedlichen mittleren Temperaturen vorherzubestimmen.

Ausgehend von einem beschriebenen Modell werden beispielsweise dreizehn Brammen mit jeweils 420 Elementen diskretisiert. Es reicht aus, eine Brammenhälfte bei entsprechender Vergabe von Symmetrie-Randbedingungen zu modellieren und z.B. das Finite-Elemente-Netz so zu generieren, dass später die mittlere Temperatur und die zeitabhängige Steuerung des Stapelvorganges leicht erfasst werden können.

Die Simulation lässt sich wie folgt gliedern:

1. Temperaturverfolgung des Brammenquerschnitts beim Durchlauf durch den Caster, was dem Start-Temperaturprofil für jede einzelne Bramme zu Beginn des Stapels entspricht.
2. Simulation des Stapels der einzelnen Brammen
3. Simulation der Abkühlung des Brammenstapels.

Im ersten Teilschritt wird zur Erzeugung eines realitätsnahen Eingangs-Temperaturprofils der Brammen in dem Holding Pit die Erstarrung der Bramme im Strang simuliert. Die Materialdichte, spezifische Wärme und Wärmeleitfähigkeit sind temperaturabhängig.

In der flüssigen Phase findet zwar auch ein konvektiver Wärmeaustausch statt, dieser wurde jedoch nicht modelliert. Um dennoch die Temperaturhomogenisierung aufgrund der konvektiven Durchmischung zu simulieren, wurde stattdessen die Wärmeleitfähigkeit gegenüber der festen Phase um den Faktor 100 erhöht. Eine wesentliche Randbedingung ist die unterschiedliche Wasserkühlungen in den Bereichen der Primär- und der Sekundärkühlzone. Nach einem Wärmeübergangsmodell wird der Temperaturbereich möglicher Oberflächentemperaturen in Abschnitte verschiedener Wärmeübergangstypen (stabile Filmverdampfung, instabiler Bereich, burn-out-Punkt usw.) unterteilt, weil für diese Bereiche unterschiedliche Ansätze für den Wärmeübergangswert gelten. In manchen dieser Bereiche ist der Übergangswert auch vom Materialwert der Oberfläche des kühlenden Körpers abhängig, das trifft im vorliegenden Fall insbesondere für stark verzünderte Oberflächen zu, bei denen die Werkstoffwerte von Zunder einzusetzen sind.

Die Simulation des Brammenstapels beginnt mit dem Einbringen der ersten Bramme in den holding pit. Danach wird alle 60 Sekunden jeweils die nächste Bramme auf die vorherige gestapelt. Beendet wird der Stapelvorgang mit dem Auflegen einer kalten Bramme auf die bis dahin zwölf gestapelten Brammen. Die kalte Bramme verringert durch ihr Eigengewicht die Krümmung der obersten heißen Bramme.

Nach dem Einlagern der ersten Bramme werden die entsprechenden Elemente dieser Bramme aktiviert und es erfolgt für diese Bramme bereits die Finite-Elemente Simulation im holding pit. Es folgt die zweite Bramme und die Elemente der Bramme zwei werden aktiviert. Diese Prozedur läuft analog ab bis zur Einlagerung der letzten kalten Bramme. Jetzt beginnt die Simulation des gesamten Brammenstapels im holding pit. Wesentliche Randbedingungen sind auch hier die Wärmeübergangskoeffizienten zwischen den Brammenoberflächen und der Umgebung. Mit Ausnahme der unteren Auflagefläche wird für alle Flächen des Brammenstapels Wärmeübergang durch Luftkonvektion plus Strahlung angenommen.

Die Luftkonvektion wird mit speziellen Funktionen berechnet; denn für die horizontalen und vertikalen Flächen ergeben sich verschieden starke Wärmeübergangswerte. Bei hohen Temperaturen sind diese noch klein gegenüber den Wärmeübergangswerten der Strahlung, doch bei niedrigen Temperaturen werden sie dominant. Des weiteren geht in die Berechnung die Umgebungstemperatur durch die weite Hallenumgebung bzw. die Wände des holding pits ein. Diese sind von einem repräsentativen Stapel aus aber nur in einem bestimmten Raumwinkelausschnitt zu sehen, in den anderen Raumwinkelausschnitten befinden sich Nachbarstapel, die eine ähnliche Temperatur haben.

Die untere horizontale Fläche des Stapels hat Kontakt mit dem Hallenboden. Man könnte den Hallenboden selbst mit in die Finite-Elemente-Berechnung einbeziehen, man kann vereinfacht auch den Hallenboden als halb-unendlichen Körper modellieren, der ständig auf seiner Anfangstemperatur verharrt, an welchem dann ein zeitabhängiger Wärmeübergangswert besteht.

Bei gegebenen Brammenabmessungen lässt sich nun der Temperaturverlauf über den Querschnitt der Bramme bzw. des Brammenstapels ermitteln. Für die

Wiedereingliederung in den Materialfluß zwischen Caster und Walzwerk sollte bei einer Stahlbramme die mittlere Brammentemperatur zwischen 500 und 600°C liegen. Die erste Bramme weist beim Start der Abkühlung noch das Temperaturprofil entsprechend dem Austritt aus dem Caster auf. Am Ende des Stapelvorganges  
5 erkennt man, dass sich eine homogenere Temperaturverteilung im Stapel ergibt, wenn der Boden entsprechend gut isoliert ist. Die oberste Bramme des Stapels verliert durch das Auflegen der kalten Bramme in der ersten Stunde relativ viel Wärme, die unterste Bramme im Stapel kühlt während einer sehr kurzen Anfangszeit stark ab, bis der Boden isolierend wirkt.

10 Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht durch die Verknüpfung eines physikalisch-mathematischen Modells mit der Automatisierung eines herkömmlichen Brammenmaterialflusses eine wirtschaftliche und sichere Steuerung der einzelnen Brammen zwischen Stranggießanlage und Walzwerk. Durch Kontrollmessungen an  
15 der Oberfläche der Brammen unter Einbeziehung der durch das Rechenmodell erhaltenen Werte lässt sich in einfacher Weise auf die Wärmemenge und das Temperaturprofil der Bramme schließen, sofern die entsprechenden Randbedingungen einbezogen sind. Auf diese Weise lässt sich an jedem Ort zwischen Stranggießanlage und Walzwerk und insbesondere in Lagerplätzen  
20 ermitteln, welche Wärmemenge der jeweiligen Bramme zuzuordnen ist und welche Energie zu- oder abgeführt werden muss, um zu den für den weiteren Prozess optimalen Temperaturprofilen zu gelangen. Die Erfindung gibt dem mit der Ausführung befassten Techniker ein Mittel an die Hand, die Anlage so optimal auszulegen, dass sie in Herstellung und Betrieb wirtschaftlich ist.



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Materialflußbestimmung und -steuerung von stranggegossenen  
Brammen, insbesondere Stahlbrammen mittels Temperaturverfolgung und -  
optimierung auf ihrem Transportweg zwischen Stranggießanlage und  
Walzwerk,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zur Ermittlung der Wärmemenge und des Temperaturprofils der Bramme,  
ausgehend von der bekannten Temperatur der flüssigen Phase am  
Kokillenaustritt der Stranggießanlage und in Kenntnis der physikalischen  
Parameter der Bramme, die konvektive Durchmischung der in der Bramme  
enthaltenen Wärmemenge und die zeitabhängige Wärmeabgabe der  
inhomogen abkühlenden Bramme an das jeweilige umgebende Medium mittels  
eines mathematisch-physikalischen Modells berechnet werden und das  
Ergebnis der Berechnung, ggf. zusammen mit der gemessenen  
Oberflächentemperatur der Bramme, zur Steuerung des Materialflusses in  
einem vorhandenen Brammenverfolgungssystem verwendet wird.
2. Verfahren zur Materialflußbestimmung und -steuerung von stranggegossenen  
Brammen nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zur Berechnung des mathematisch-physikalischen Modells die  
zweidimensionale Finite-Elemente Methode, die Finite-Differenz-Methode oder  
eine Software mit aus off-line Studien abgeleiteten Formeln verwendet werden.
3. Verfahren zur Materialflußbestimmung und -steuerung von stranggegossenen  
Brammen nach Anspruch 1 und 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß als physikalische Parameter der Bramme die temperaturabhängigen  
Materialwerte wie Dichte  $\rho$ , die spezifische Wärme  $c_p$ , die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$   
und Zündereigenschaften verwendet werden.

4. Verfahren zur Materialflußbestimmung und -steuerung von stranggegossenen Brammen nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,
  - 5 daß das Ergebnis der Berechnung und die gemessene Oberflächentemperatur der Bramme mit einer Automatisierung des Materialflusses in dem Brammenverfolgungssystem verknüpft werden.

## **Zusammenfassung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Materialflußbestimmung und -steuerung von stranggegossenen Brammen, insbesondere Stahlbrammen mittels Temperaturverfolgung und -optimierung auf ihrem Transportweg zwischen Stranggießanlage und Walzwerk. Dabei werden zur Ermittlung der Wärmemenge und des Temperaturprofils der Bramme, ausgehend von der bekannten Temperatur der flüssigen Phase am Kokillenaustritt der Stranggießanlage und in Kenntnis der physikalischen Parameter der Bramme, die konvektive Durchmischung der in der Bramme enthaltenen Wärmemenge und die zeitabhängige Wärmeabgabe der inhomogen abkühlenden Bramme an das jeweilige umgebende Medium mittels eines mathematisch-physikalischen Modells berechnet und das Ergebnis der Berechnung, wird ggf. zusammen mit der gemessenen Oberflächentemperatur der Bramme, zur Steuerung des Materialflusses in einem vorhandenen Brammenverfolgungssystem verwendet.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**